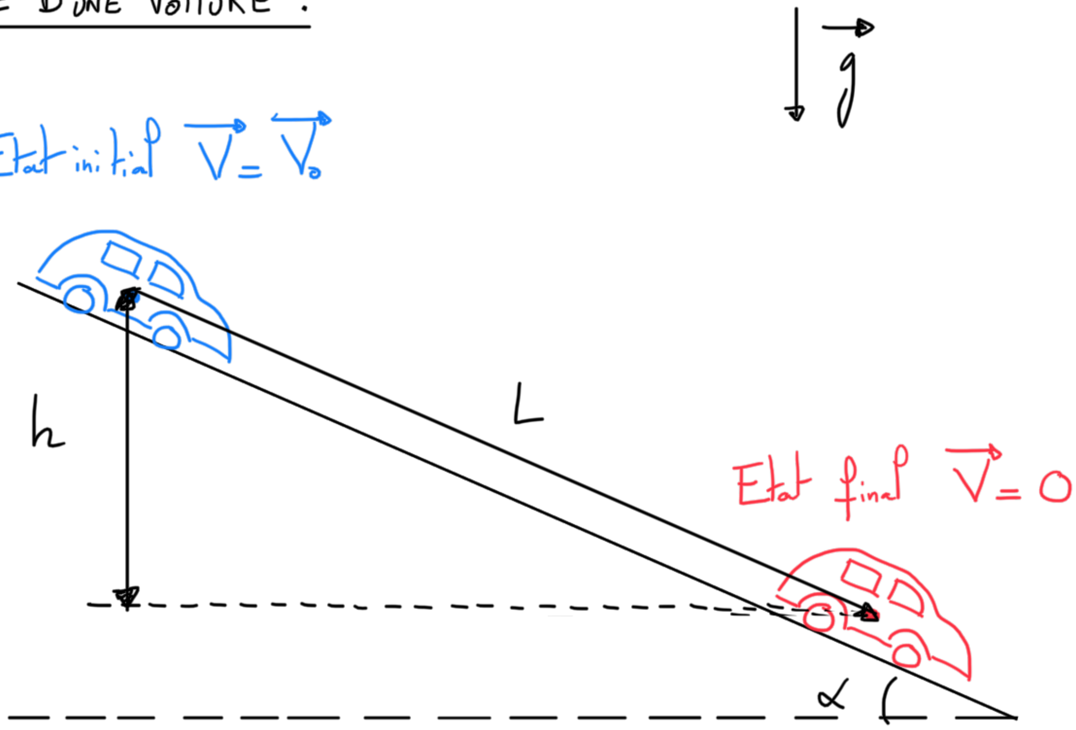
THERMODYNAMIQUE TD 1

FREINAGE D'UNE VOITURE :



{Voiture} = système fermé à parois indéformables.

ⓐ 1er principe : $\Delta(E + E_c) = W_{ext} + Q$

On néglige les échanges de chaleur avec l'extérieur (air et route)

$\Rightarrow Q = 0$

On néglige les frottements de l'air et des pneus sur la route

$\Rightarrow W_{ext} = Mgh = MgL\sin\alpha$

On a donc :

$$\Delta E = MgL\sin\alpha - \Delta E_c = MgL\sin\alpha + \frac{M}{2}V_0^2 = 2{,}7\ 10^5\ \text{J}$$

(b) On suppose que cette énergie est stockée au niveau des disques de freins pour lesquels on donne $E_d = mCT + C^{te}$

On a donc :

$$\Delta E_d = mC\Delta T = MgL\sin\alpha + \frac{M}{2}V_0^2$$

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{M}{mC}\left(gL\sin\alpha + \frac{V_0^2}{2}\right) \quad \text{avec} \quad m = 4\rho\left(\pi R_c^2\right)$$

$$\Delta T = 63{,}9\ K$$

(c) On applique le théorème de l'énergie cinétique à la voiture :

$$\Delta E_c = W_{ext} + W_{int} = MgL\sin\alpha + W_{int}$$

$$\Rightarrow W_{int} = -MgL\sin\alpha - \frac{M}{2}V_0^2 = -\Delta E = -2{,}7\ 10^5\ J$$

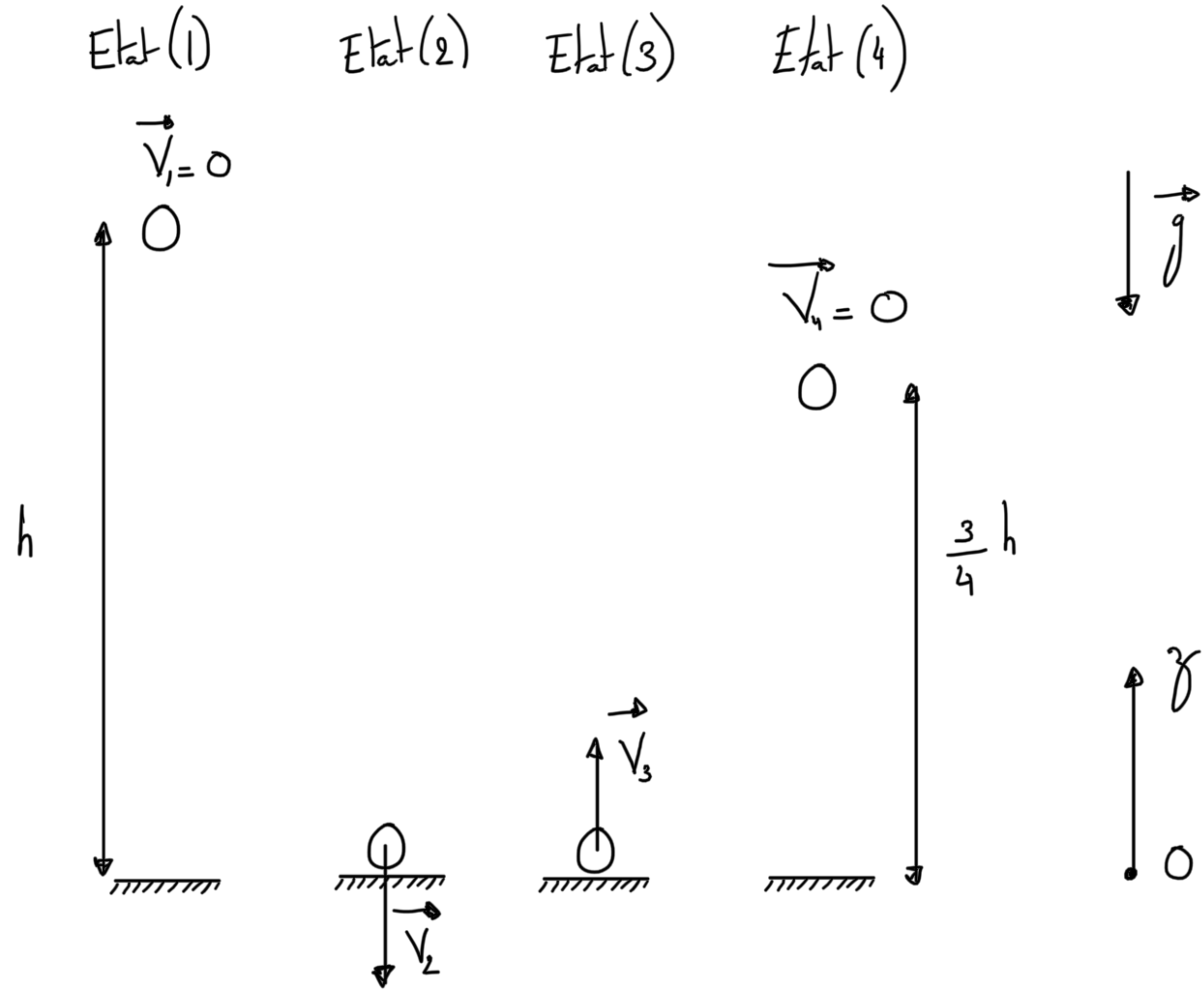
On peut donc relier le travail des forces intérieures à la variation d'énergie interne du système.

(d) Si on remonte la pente :

$$\Delta E = \frac{M}{2}V_0^2 - MgL\sin\alpha = 1{,}3\ 10^5\ J$$

$$\Delta T = \frac{\Delta E}{mC} = 30{,}8\ K$$

BILAN D'ENERGIE LORS D'UN CHOC :



$\{Balle\}$ = système fermé

On introduit l'énergie potentielle de gravité $E_p = mgz$

• Etat (1) : $\begin{cases} \text{énergie interne } E_1 = E_0 \\ \text{énergie cinétique } E_{c_1} = 0 \quad (\vec{V_1} = 0) \\ \text{énergie potentielle } E_{p_1} = mgh = 4{,}905 \text{ J} \end{cases}$

Caractérisation de l'état (2) : E_2 , $E_{c_2} = \frac{mV_2^2}{2}$ et $E_{p_2} = 0$

On applique le 1er principe entre les états (1) et (2)

$$\Delta(E+E_c+E_p) = 0$$ $\underbrace{\text{pas de frottements de l'air ni d'échange de chaleur}}_{\text{on n'a donc pas de variation d'énergie interne (pas de choc)}}$

. Etat (2) : $\begin{cases} \text{énergie interne } E_2 = E_0 \\ \text{énergie cinétique } E_{c_2} = \frac{m}{2} V_2^2 \\ \text{énergie potentielle } E_{p_2} = 0 \end{cases}$

Caractérisation de l'état (4) : E_4, $E_{c_4} = 0$, $E_{p_4} = \frac{3}{4}mgh$

On applique le premier principe entre les états (1) et (4)

$$\Delta(E+E_c+E_p) = 0$$ pas de frottements de l'air ni d'échange de chaleur

$$E_4 = E_0 + \frac{1}{4}mgh$$

. Etat (4) : $\begin{cases} \text{énergie interne } E_4 = E_0 + \frac{1}{4}mgh = E_0 + 1{,}22 \text{ J} \\ \text{énergie cinétique } E_{c_4} = 0 \\ \text{énergie potentielle } E_p = \frac{3}{4}mgh = 3{,}68 \text{ J} \end{cases}$

Caractéristion de l'état (3) : E_3, $E_{C_3} = \frac{mV_3^2}{2}$, $E_{P_3} = 0$

On applique le 1er principe entre les états (3) et (4)

$$\Delta(E + E_c + E_p) = 0 \quad \underbrace{\text{pas de frottements de l'air ni d'échange de chaleur}}_{\text{on n'a donc pas de variation d'énergie interne (pas de choc)}}$$

• Etat (3) :

$$\begin{cases} \text{énergie interne} & E_3 = E_4 = E_0 + 1{,}22\ J \\ \text{énergie cinétique} & E_{C_3} = 3{,}68\ J \\ \text{énergie potentielle} & E_{P_3} = 0 \end{cases}$$

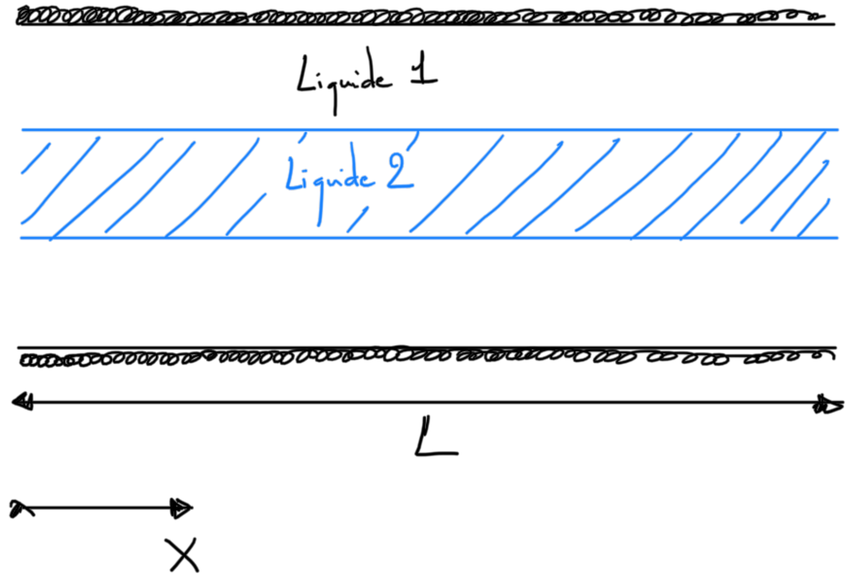
On constate que la variation d'énergie interne est lié au choc

(b) On réalise 500 échanges successifs :

$$\Delta E = 500 \times 1{,}22 = 613{,}15\ J = m\, C_v \Delta T$$

$$\Delta T = 17{,}5\ K$$

Etude d'un echangeur thermique :



$\{\text{Echangeur}\}$ = système ouvert à parois rigides et adiabatiques, en régime permanent et pour lequel on peut négliger les variations d'energie cinétique et potentielle.

(a) 1^er principe :

rigide adiabatique

$$\dot{m}_1 \left(h_{1s} - h_{1e} \right) + \dot{m}_2 \left(h_{2s} - h_{2e} \right) = \cancel{\dot{W}_u} + \cancel{\dot{Q}} = 0$$

$$\dot{m}_1 C_1 \left(T_{1s} - T_{1e} \right) + \dot{m}_2 C_2 \left(T_{2s} - T_{2e} \right) = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = - \frac{C_2 \left(T_{2s} - T_{2e} \right)}{C_1 \left(T_{1s} - T_{1e} \right)} = 0,86$$

(b) En réalité $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \Rightarrow$ le système échange donc soit un travail utile soit une chaleur utile avec l'extérieur. Comme les parois sont rigides, on en déduit que le système est mal calorifugé

(c) {fluide 2} = système ouvert à parois rigide, en régime permanent et pour lequel on peut négliger les variations d'énergie cinétique et potentielle.

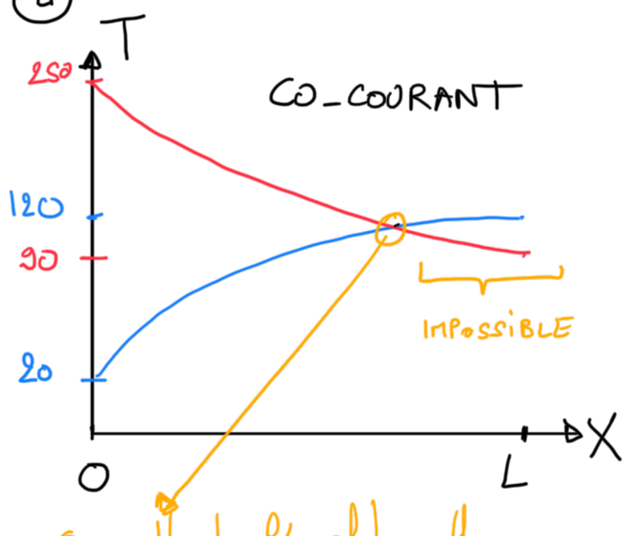
1er principe $\quad \dot{m}_2 C_2 (T_{2s} - T_{2e}) = \dot{\varphi}_{12} = 96 \text{ kJ.s}^{-1} = 480 \text{ kW}$

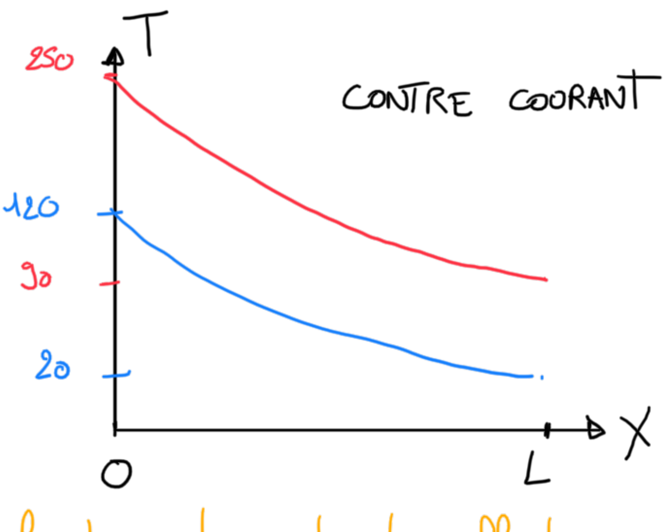
Pour l'{échangeur} : $\quad \dot{m}_1 C_1 (T_{1s} - T_{1e}) + \dot{m}_2 C_2 (T_{2s} - T_{1s}) = \dot{\varphi}_p$

$$\Longrightarrow \dot{\varphi}_p = -16 \text{ kJ.s}^{-1} = -16 \text{ kW}$$

Pour rendre l'échangeur plus rentable, il faut mieux le calorifugé

(d)

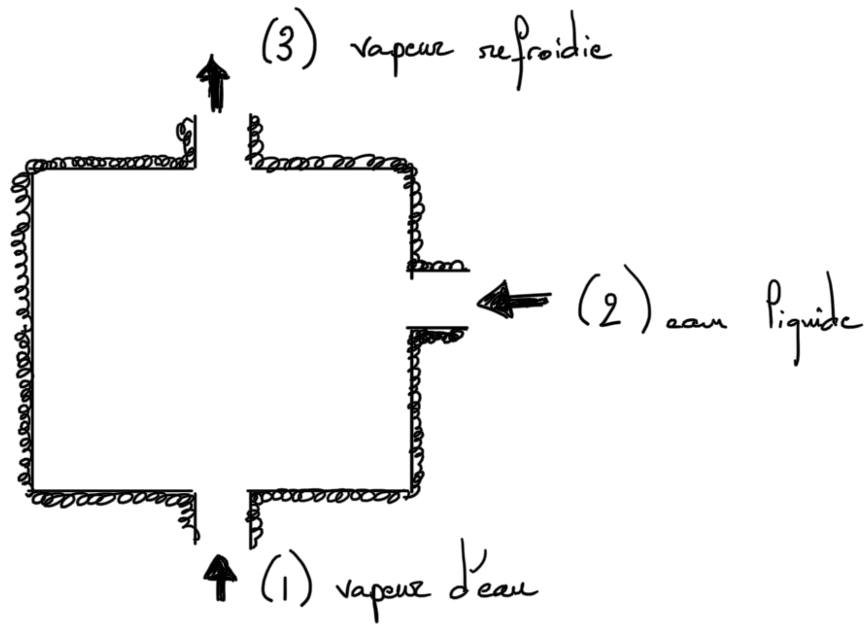




On atteint l'équilibre thermique, les températures des deux fluides sont égales et n'évoluent plus.

V

ANALYSE D'UN DESURCHAUFFEUR :



{Désurchauffeur} = système ouvert à parois rigides et isolées thermiquement et en régime permanent.

(a) bilan de masse $\mathring{m}_3 = \mathring{m}_1 + \mathring{m}_2 \iff \frac{\mathring{V}_3}{v_3} = \frac{\mathring{V}_1}{v_1} + \frac{\mathring{V}_2}{v_2}$

$$\mathring{m}_2 = \frac{\mathring{V}_3}{v_3} - \frac{\mathring{V}_1}{v_1} \simeq 0,233 \ kg.s^{-1} \simeq 14 \ kg.min^{-1}$$

$$\mathring{V}_2 = \mathring{m}_2 v_2 \simeq 2,33 \ 10^{-4} \ m^3.s^{-1} \simeq 14 \ 10^{-3} \ m^3.min^{-1}$$

(b) flux d'énergie $\mathring{E}_c = \frac{\mathring{m}}{2} U^2$, $\mathring{E}_p = \mathring{m} g z$ et $\mathring{H} = \mathring{m} h$

$U = \frac{\mathring{V}}{S}$ avec $S = \frac{\pi D^2}{4}$

en (1) $U_1 = 22,15 \ m.s^{-1}$, $\mathring{m}_1 = 1,18 \ kg.s^{-1}$

$$\mathring{E}_{c_1} = 290,5 \ W, \ \mathring{E}_{p_1} = 0 \ W, \ \mathring{H}_1 = 4,01 \ 10^6 \ W$$

en (2) $U_2 = 0,48\ m.s^{-1}$, $\dot{m}_2 = 0,233\ kg.s^{-1}$

$\dot{E}_{c_2} = 2,7\ 10^{-2}\ W$, $\dot{E}_{p_2} = 13,7\ W$, $\dot{H}_2 = 97,6\ 10^{3}\ W$

en (3) $U_3 = 19,35\ m.s^{-1}$, $\dot{m}_3 = 1,417\ kg.s^{-1}$

$\dot{E}_{c_3} = 265,28\ W$, $\dot{E}_{p_3} = 125,1\ W$, $\dot{H}_3 = 4,08\ 10^{6}\ W$

c) 1^er^ principe

parois rigides

$$\Delta\dot{H} + \Delta\dot{E}_c + \Delta\dot{E}_p = \dot{Q} + \cancel{\dot{W}_u} = \dot{Q}$$

(les parois sont isolées mais pas adiabatiques)

$$\begin{cases} \Delta\dot{H} = \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_1 h_1 = \dot{H}_3 - \dot{H}_2 - \dot{H}_1 = -27,6\ 10^{3}\ W \\ \Delta\dot{E}_c = \frac{\dot{m}_3}{2} U_3^2 - \frac{\dot{m}_2}{2} U_2^2 - \frac{\dot{m}_1}{2} U_1^2 = \dot{E}_{c_3} - \dot{E}_{c_2} - \dot{E}_{c_1} = -25,25\ W \\ \Delta\dot{E}_p = \dot{m}_3 g z_3 - \dot{m}_2 g z_2 - \dot{m}_1 g z_1 = \dot{E}_{p_3} - \dot{E}_{p_2} - \dot{E}_{p_1} = 111,4\ W \end{cases}$$

$\Longrightarrow \dot{Q} = -27,5\ 10^{3}\ W \simeq \Delta\dot{H}$ à 0,3 % près

d) sur les tables on lit $T_1 = 500°C$ et $P_1 = 90$ bar

$T_3 = 320°C$ et $P_2 = 80$ bars